



EXPEDIENTE	IMAMCK/2016/1
ACRÓNIMO	FUNCIONSHOE
PROGRAMA	PROYECTOS DE I + D PROPIA
TÍTULO DEL PROYECTO	APLICACIÓN DE BIOFUNCIONALIDAD OBJETIVA EN LA EVALUACIÓN DEL CONFORT EN CALZADO

Entregable E1.2.1
PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS FUNCIONAL DEL
CALZADO (Resumen)

ÍNDICE

1 DESCRIPCIÓN DEL ENTREGABLE	3
2 BIOMECÁNICA DEL PIE Y DEL TOBILLO	3
3 BIOMECÁNICA DE LA MARCHA.....	5
4 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS FUNCIONAL DEL CALZADO	6
4.1 Análisis espacio-temporal	6
4.2 Análisis cinemático	6
4.3 Análisis cinético	8
4.4 Análisis fisiológico.....	10
4.5 Podobarografía o análisis de presiones plantares	11
Referencias	14

1 DESCRIPCIÓN DEL ENTREGABLE

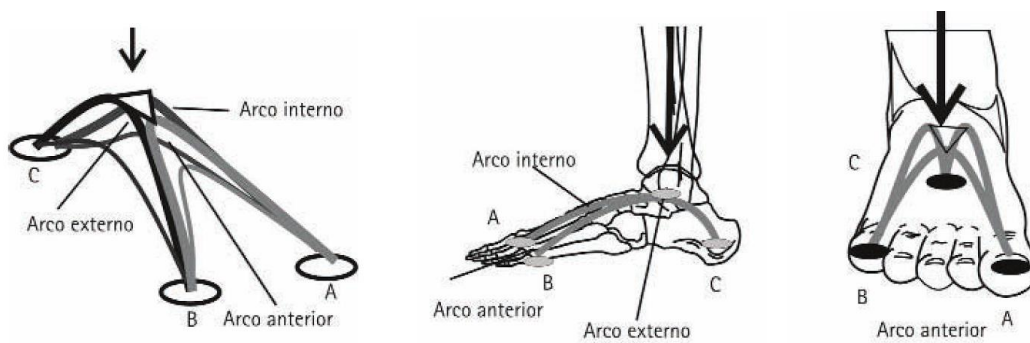
Los métodos cuantitativos de evaluación funcional del pie y del calzado suponen una importante fuente de información para identificar posibles riesgos de lesión.

Aquellos tests en los que se tiene en cuenta la información del usuario durante el uso del calzado son subjetivos y dependen de las percepciones de éstos por lo que existe la necesidad de obtener datos objetivos y cuantitativos de la interacción entre usuario y calzado. En este Entregable E1.2.1 se describen las principales técnicas que pueden ser utilizadas para el análisis funcional del calzado. Estas técnicas, encuadradas en el ámbito de la biomecánica, nos permitirán comprender la función del pie y del calzado.

2 BIOMECÁNICA DEL PIE Y DEL TOBILLO

El **pie**, como nexo de contacto de nuestro cuerpo con el medio, nos permite la bipedestación y la marcha y constituye una fuente de estímulos propioceptivos y exteroceptivos que, mediante un mecanismo de retroalimentación, nos ayuda a mantener el equilibrio en condiciones estáticas y dinámicas (Zurita & Cabello, 2002). Además, gracias a su particular estructura, el pie es capaz de actuar como un elemento rígido o flexible, en función de los requerimientos y las características del medio en el que se mueve (Gould, 1990; Viladot, 2001; Ebri, 2002).

La funcionalidad del pie humano está influenciada por su estructura triangular y, sobre todo, por la conformación de su arco interno (McCrary et al., 1997; Shiang et al., 1998; Menz & Munteanu, 2005; Torrijos et al., 2009), ya que gracias a su forma cupular (Kapandji, 1998; Viladot, 2000; Barretto, 2006) y a sus puntos de apoyo en talón y metatarsianos es capaz de soportar todo el peso de nuestro cuerpo sin hundirse.



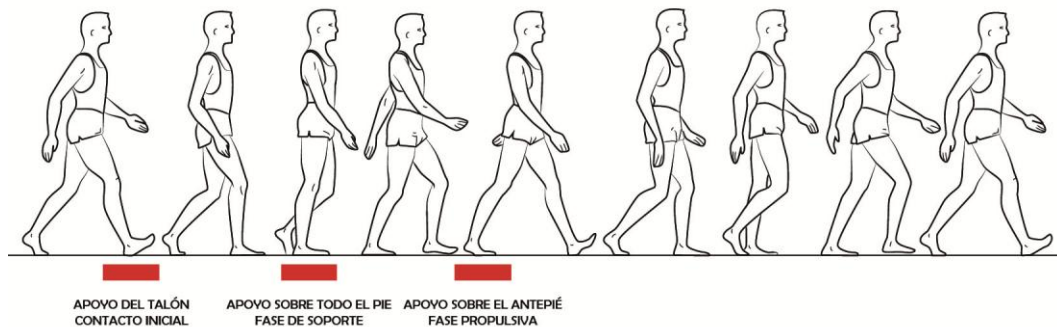
En cuanto al **tobillo**, su correcta morfología es fundamental para el mantenimiento de la bóveda plantar y, desde un punto de vista funcional, trabaja junto con las articulaciones subastragalina y de Chopart que tienen como misión amortiguar el choque del pie con el suelo y adaptarlo a las irregularidades de la superficie. El tobillo tiene movimiento en tres ejes (Root et al., 1991; Kapandji, 2004):

- Flexión y extensión: es un movimiento que se da en el plano sagital, en el que la zona distal del pie se aleja (extensión) o se aproxima (flexión) a la tibia.
- Inversión y eversión: es un movimiento que se da en el plano frontal, en el que la superficie plantar se inclina en el sentido de enfrentamiento (inversión) o alejamiento (eversión) del plano medio sagital.
- Aducción y abducción: son movimientos que tienen lugar sobre un plano horizontal, en los que la zona distal del pie se desplaza hacia la línea media del cuerpo (aducción), o se separa de la misma (abducción).

Durante la marcha o la carrera, los movimientos del pie en estos tres ejes suelen darse de forma combinada. La supinación consiste en la combinación simultánea de aducción, inversión y extensión, mientras que la pronación consiste en la combinación de la abducción, eversión y flexión.

3 BIOMECÁNICA DE LA MARCHA

La **marcha** es un proceso en el que ambos pies van alternando cíclicamente el soporte de la carga corporal. Este ciclo empieza en el instante de contacto pie-suelo, y termina en el instante inmediatamente anterior a que ese mismo pie vuelva a contactar con el suelo mientras la pierna contralateral oscila de atrás adelante.



El estudio biomecánico de la marcha analiza el movimiento sin considerar las fuerzas que lo generan (análisis cinemático) y las fuerzas que actúan sobre el aparato locomotor (análisis dinámico o cinético). Además se deben tener en cuenta parámetros espaciales, temporales y espacio-temporales.

El patrón de marcha puede verse influenciado por múltiples factores que pueden generar alteraciones transitorias o permanentes, locales o generales: extrínsecos (terreno, tipo de calzado, indumentaria, transporte de carga); intrínsecos (edad, sexo, peso); físicos (medidas antropométricas); psicológicos relacionados con la personalidad y las emociones del individuo; fisiológicos (periodo de gestación, proceso normal de envejecimiento); patológicos como traumatismos, patologías neurológicas o músculo-esqueléticas o trastornos psiquiátricos (Agudelo et al., 2013; Collado, 2002).

Con respecto al **calzado**, las características que más influyen en la marcha son la presencia de tacón, la capacidad de amortiguación, el peso y el material del calzado y el control de movimientos, entre otros.

4 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS FUNCIONAL DEL CALZADO

Los métodos existentes para el análisis de la marcha nos permiten estudiar la funcionalidad del calzado. Estos métodos son numerosos y permiten la obtención de los parámetros cuantitativos de una manera objetiva.

Los laboratorios de Análisis del Movimiento están integrados por equipos multidisciplinares que, utilizando una amplia variedad de recursos tecnológicos, abordan el estudio del movimiento desde diversas perspectivas.

4.1 Análisis espacio-temporal

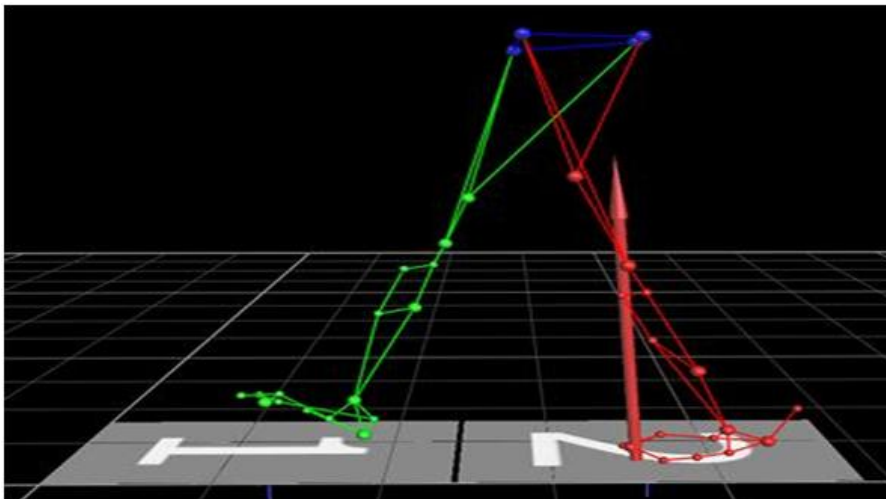
Para evaluar los parámetros temporales y espaciales, se han implementado procedimientos desde tinta y papel o interruptores de pie, hasta métodos más sofisticados como la videogrametría que incluye la colocación de marcadores en el cuerpo, que son detectados por sistemas optoelectrónicos y que permitirán determinar los ángulos de las articulaciones, velocidad lineal y angular, y los patrones de aceleración. Estos sistemas de adquisición de datos utilizados para determinar los parámetros cinemáticos son con frecuencia demasiado complejos, requiriendo demasiado tiempo y entrenamiento del personal en su manejo, pero constituyen herramientas útiles en la investigación.

4.2 Análisis cinemático

El análisis cinemático se centra en el estudio del movimiento de los segmentos de las extremidades inferiores con independencia de las fuerzas que lo generan evaluando el rango del movimiento articular, trayectoria del centro de gravedad, velocidad y aceleración lineales y angulares (posición, velocidad y aceleración). Las técnicas empleadas son de dos tipos: directas e indirectas. En las directas se aplican sensores al sujeto que captan el movimiento, tales como goniómetros y acelerómetros que suelen medir ángulos y aceleraciones. Las indirectas se basan en distintos sistemas de

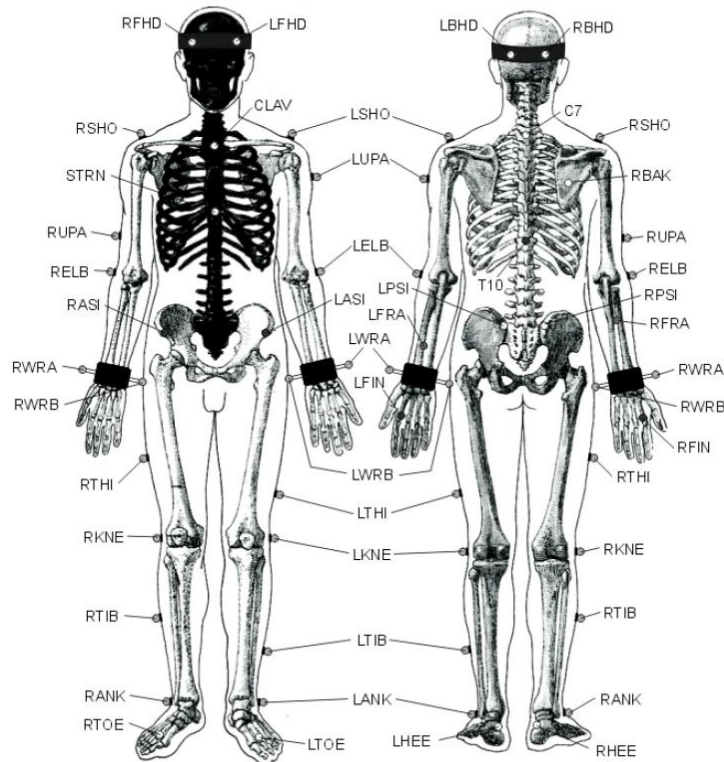
obtención de imágenes (fotografía estroboscópica o por destello luminoso, filmación en vídeo y cinematografía). Las ventajas de estas técnicas son la simplicidad relativa de los equipos y la libertad de movimientos que puede realizar el individuo.

La videogrametría es la técnica que más se utiliza para el análisis cinemático y es derivada de la fotogrametría, que se vale de imágenes de algún objeto tomadas desde varios puntos de vista para realizar una reconstrucción tridimensional. Con el fin de lograr tal objetivo, dicha técnica usa el método transformación lineal directa, que consiste en un par de ecuaciones lineales que relacionan la coordenada en la imagen de un punto con su ubicación espacial, mediante la teoría de proyección perspectiva. Aunque la videogrametría es una aproximación usada para la reconstrucción tridimensional, puede ser aplicada para el análisis bidimensional del movimiento, mediante el uso de una cámara situada paralela al plano que se analizará. Generalmente este tipo de sistemas también llevan incluidas plataformas dinamométricas para el análisis cinético.



Este tipo de sistemas se basa en una serie de marcadores adheridos a la piel, ya sean pasivos (reflectantes) o activos (emisores de señal electromagnética pulsada), para detectar los puntos anatómicos. Para la colocación de estos marcadores existen diversos protocolos o modelos (generalmente un sistema de múltiples sólidos rígidos

articulados entre sí), que representen el cuerpo humano con sus segmentos, articulaciones y con su masa.



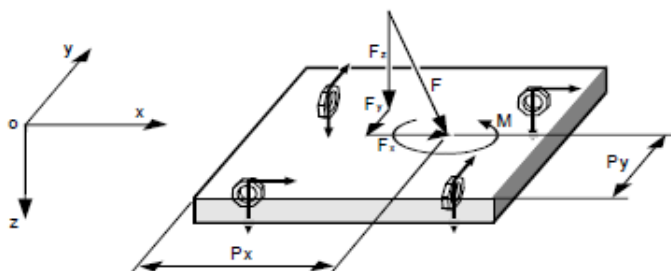
4.3 Análisis cinético

El análisis cinemático, si bien define los ángulos articulares y movimiento de los segmentos en el espacio, no da cuenta de las causas que determinan ese movimiento. Por tanto se utiliza el análisis cinético o dinámico, que aborda el estudio del movimiento teniendo en cuenta las sollicitaciones mecánicas que lo generan. Incluye por tanto, el estudio de los movimientos de torsión, las fuerzas de reacción del suelo, tensiones en la interfase hueso-articulación-hueso, tensiones musculares y niveles energéticos. Los estudios de medida también son directos e indirectos. Los directos tienen el gran inconveniente de ser cruentos, por lo que se emplean técnicas indirectas que registran las fuerzas externas ejercidas sobre el medio sobre el que se ejecuta el movimiento (técnicas presurométricas). El mayor interés lo tienen las técnicas llamadas cuantitativas que transforman mediante transductores electromecánicos, la

presión en una magnitud eléctrica cuantificable. Los más importantes son los podómetros electromecánicos, las plantillas instrumentadas y las plataformas dinamométricas.



Las plataformas dinamométricas son el instrumento de medición más usado y permiten el estudio de la marcha desde el punto de vista cinético ya que miden las fuerzas y momentos de reacción que un individuo ejerce sobre el suelo en la ejecución de un movimiento o gesto determinado en las tres dimensiones del espacio (vertical, anteroposterior y mediolateral) (Zumwalta et al., 2006). También mediante las plataformas se puede calcular el centro de presiones (o punto de aplicación) y el momento torsor sobre su superficie alrededor de dicho centro de presiones (Figura 11).



Las fuerzas de reacción se estudian en el eje vertical, en el eje longitudinal o anteroposterior y en el eje mediolateral. Normalmente se estudian las fuerzas

horizontales (anteroposterior y transversal) para problemas de interacción entre la suela/ superficie del suelo en términos de adherencia. Las fuerzas verticales se ensayan especialmente para todos los aspectos relacionados con la amortiguación del calzado (Camp Faulí et al., 2006).

4.4 Análisis fisiológico

Entre las técnicas de análisis fisiológico destaca la electromiografía (EMG) que consiste en el registro y análisis de las señales eléctricas originadas por la actividad muscular, con el objetivo de determinar la secuencia de activación muscular y la intensidad relativa del esfuerzo muscular durante el movimiento (Basmajian & De Luca, 1985).

Este sistema de EMG consta de un amplificador, de electrodos y un transductor o electromiógrafo. La función del amplificador de señal es eliminar las señales ruidosas que no pertenecen a la activación muscular y que por tanto, desvirtúan la medición. Los electrodos son los dispositivos que captan la actividad del músculo y la envían al electromiógrafo. Por último, el transductor o electromiógrafo tiene como función transformar la señal eléctrica para que sea entendible y procesable por el software que estemos utilizando.



La actividad de los músculos superficiales puede ser registrada con electrodos de superficie y la de los músculos profundos con electrodos de alambre fino. Además

debe ser interpretada en conjunto con los hallazgos cinemáticos y de cinética articular para entender las alteraciones neuromusculares que se puedan presentar.

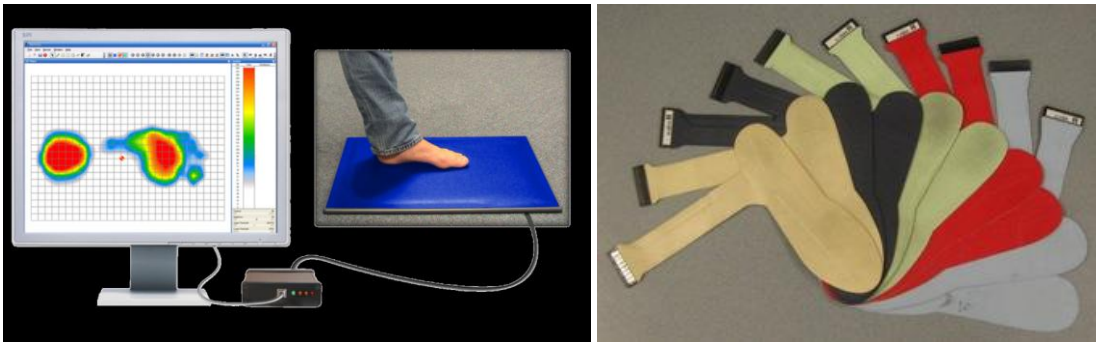
La electromiografía de superficie no representa ni puede ser homologada con la fuerza muscular, ya que no contempla una estandarización entre la medición de fuerza muscular y amplitud de señal electromiográfica observada. Aún así, ofrece algunas ventajas: es una técnica no invasiva y permite analizar simultáneamente distintos músculos en movimiento y en acciones de duración ilimitada. El procesado de la señal electromiográfica proporciona parámetros de amplitud y frecuencia para estudios descriptivos y comparativos. No obstante, no permiten valorar la musculatura profunda, aporta menos definición que la EMG de aguja, precisan de una correcta preparación de la piel, y se obtienen trazados con un espectro de frecuencias más bajas.

4.5 Podobarografía o análisis de presiones plantares

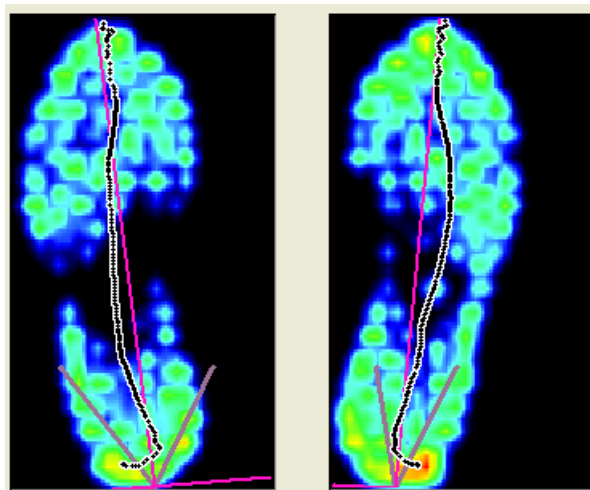
La podobarografía estudia los patrones de distribución de las presiones que aparecen entre la planta del pie y la superficie que la soporta (generalmente el suelo o el zapato). Generalmente se habla de podobarografía como estudio de las presiones plantares lo que, además de estar fuertemente ligada a la percepción de confort, puede servir para evaluar la estabilidad de la marcha con una zapatilla determinada. Hoy en día existen diferentes métodos cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos para medir la presión plantar (Díaz et al., 2006).

Los métodos cualitativos, de bajo coste, se basan en el estudio visual por parte de un examinador de la interacción del pie con el suelo. Entre los métodos cualitativos están el podoscopio convencional, los plantogramas hechos con impresiones sobre papel y el fotopodograma que se hace con papel fotográfico. Los métodos semicuantitativos cuantifican imágenes obtenidas a partir de las técnicas cualitativas mediante técnicas digitales de procesamiento; entre ellos están los podobarógrafos de esferas y lisos.

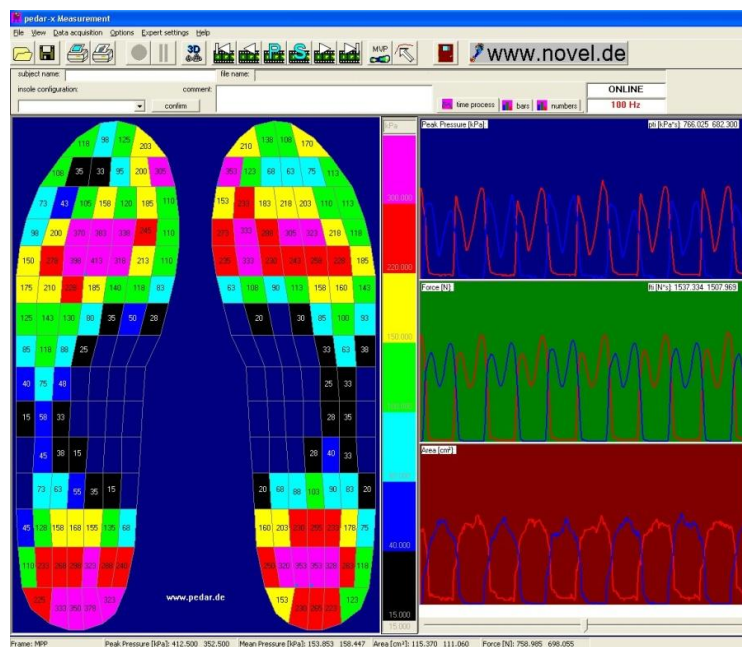
Finalmente, están los métodos cuantitativos que, mediante transductores electromecánicos, transforman los diferentes valores de presión en una magnitud eléctrica cuantificable; estos métodos están representados por las plataformas de presiones y las plantillas instrumentadas.



Las plataformas de presiones permiten hacer análisis de la distribución de cargas en la interfaz pie-suelo o suela-suelo y son utilizadas como método de caracterización del pie, tanto en estático como en dinámico. Sin embargo muestran en general algunos inconvenientes. En primer lugar, distribuyen la presión a monitorizar, interfiriendo así en los valores reales de presión, no permiten medir fuerzas de cizalla y el registro necesita un mayor número de pasos ya que no permiten analizar ambos pies a la vez.



Por otro lado, las plantillas son muy utilizadas en investigación aplicada y clínica ya que permiten analizar la interfaz pie-calzado sin restricción de espacio y sin poner límites a la libertad del movimiento del usuario al ser sistemas portátiles. Normalmente, la medida se realiza durante un período de tiempo muy limitado, generando gran cantidad de datos en poco tiempo. En cambio son sensibles a la temperatura, no recogen las componentes mediolateral y anteroposterior de la fuerza de reacción entre el pie y el suelo, están sometidas a continuas deformaciones y cuentan con un número limitado de sensores, por lo que puede resultar problemático el adecuado posicionamiento de los mismos debajo del área a medir. El sistema de plantillas instrumentado no introduce el sesgo de la forma de apoyar derivado de que el sujeto acierte la pisada en la plataforma, ya que los sensores están implantados en el sistema que el usuario traslada bajo sus pies. Su resolución disminuye cuando se manipulan y si se utilizan repetidamente o en diferentes zapatos, presentan problema de construcción por su limitado tamaño y se requiere una plantilla para cada talla de calzado.



Referencias

- Agudelo Mendoza, Briñez Santamaria, Guarín Urrego, Ruiz Restrepo, Zapata García. (2013) Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. *Revista CES Movimiento y Salud* Vol. 1 (1), 29-43
- Barreto, S. (2006). *Diseño de calzado urbano*. Buenos Aires. Editorial Nobuko
- Camp Faulí A., E. Montiel Parreño, D. Poveda Verdú, L. Salvador Palacios, C (2006). Orgilés Barcelo, A. Faulí Marín. Estudio dinámico de la presión en el pie: podobarografía. *Av Diabetol*; 22: 54-61
- Collado Vázquez S (2002). Análisis de la marcha humana con plataformas dinamométricas. Influencia del transporte de carga (tesis doctoral), Madrid, Universidad Complutense de Madrid.
- Collado Vázquez S (2005). Plataformas dinamométricas. Aplicaciones, *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud BIOCENCIAS*; 3.
- Díaz CA, Torres A, Ramírez JI, García LF, Álvarez N (2006). Descripción de un sistema para la medición de las presiones plantares por medio del procesamiento de imágenes Fase I, *Revista EIA*; 6:43-55.
- Ebri JR. (2002) El pie infantil: crecimiento y desarrollo. Deformidades más frecuentes: pie doloroso, *Pediatr Integral*; 6(5):431-452.
- Gould N, Moreland M, Trevino S, Alvarez R, Fenwick J, Bach N. (1990) Foot growth in children age one to five years. *Foot Ankle*: 10: 211-213.
- Kapandji, I. A. (1998). *Fisiología articular* (Tomo 2). Madrid: Editorial Panamericana.
- Kapandji, I. A. (2004). *Fisiología Articular* (Tomo 2) 5.ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- McCrary, J. L., Young, M. J., Boulton, A. J. M. & Cavanagh, P. R. (1997). Arch index as a predictor of arch height. *The Foot*, 7, 79-81.
- Menz, H. B. & Munteanu, S. E. (2005). Validity of 3 clinical techniques for the measurement of static foot posture in older people. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 35, 479-486.
- Root ML, Orien WP, Weed JH, Hugues RJ. (1991). *Exploración biomecánica del pie*. Madrid: Ortocen,
- Shiang TY, Lee SH, Lee SJ, Chu WC. (1998). Evaluating different footprint parameters as a predictor of arch height. *IEEE Eng Med Biol Mag.*: 17: 62-66.
- Torrijos, A.; Abián-Vicen, J., Abián, P.; Abián, M. (2009). Plantar fasciitis treatment. *J Sport Health Res*, 1(2):123-131
- Vaughan CL, Davis BL & O Connor JC. (1992). *Dynamics of Human Gait* (2nd edition). Kiboho Publishers, Cape Town, South Africa.
- Villadot A (2000). *Quince lecciones sobre patología del pie*, Springer-Verlag Ibérica; 13.
- Villadot A. (2001). *Patología del antepie*, 4ªed, Barcelona; 2-3.

Zumwalta A, Hamrickb M, Schmitta D. (2006) Force plate for measuring the ground reaction forces in small animal locomotion. J Biomech; 39(15):2877-2881.

Zurita MF, Cabello MD (2002). Influencia del pie en la estática, marcha y otras habilidades en escolares de 6 a 12 años. Lect. Educ. Fís. Deportes,; 8(51).